第 38 卷第 9 期 生 态 学 报 Vol.38,No.9
2018 年 5 月 ACTA ECOLOGICA SINICA May,2018

DOI: 10.5846/stxb201703140434
杨国栋,钱慧蓉,陈林,王贤荣.中国特有植物短丝木犀(*Osmanthus serrulatus* Rehd.)群落结构及其环境解释.生态学报,2018,38(9):3059-3068.
Yang G D, Qian H R, Chen L, Wang X R. Analysis of community structure of *Osmanthus serrulatus* based on TWINSPAN classification and DCCA sequencing. Acta Ecologica Sinica,2018,38(9):3059-3068.

中国特有植物短丝木犀(*Osmanthus serrulatus* Rehd.)群落结构及其环境解释

杨国栋[1,2],钱慧蓉[1,2],陈 林[1,2,*],王贤荣[1,2]
1 南京林业大学南方现代林业协同创新中心,南京 210037
2 南京林业大学生物环境学院,南京 210037

摘要:为了解环境因子对短丝木犀植物群落的影响,研究了四川省宝兴县东拉山短丝木犀植物群落地区的环境因子、TWINSPAN 分类、物种和多样性指数与环境因子的 DCCA 排序。结果表明:1) TWINSPAN 将东拉山短丝木犀 24 个植物群落里划分为 12 个群落类型,分类结果在空间上反映了东拉山植物群落的演替变化趋势。2) 短丝木犀植物群落生长在土壤含水量较高、郁闭度较高,并处于西南和南坡向的沟边。短丝木犀群落的主要伴生物种为鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*、宝兴木姜子 *Litsea moupinensis* 、领春木 *Euptelea pleiosperma*、云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*、宝兴过路黄 *Lysimachia baoxingensis*、糙苏 *Phlomis umbrosa* 和铁角蕨 *Asplenium trichomanes*。3) DCCA 排序结果验证了 TWINSPAN 分类结果的合理性,同时指出影响东拉山短丝木犀植物群落类型及空间分布的重要环境因子是土壤有机质和腐殖质含量。

关键词:群落;DCCA 排序;环境因子;短丝木犀;TWINSPAN 分类

Analysis of community structure of *Osmanthus serrulatus* based on TWINSPAN classification and DCCA sequencing

YANG Guodong[1,2], QIAN Huirong[1,2], CHEN Lin[1,2,*], WANG Xianrong[1,2]
1 *Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing* 210037, *China*
2 *College of Biological Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing* 210037, *China*

Abstract: Plant community classification and ordination categorizes plant communities according to characteristics or attributes, and is an important means of analyzing the ecological relationship between vegetation and the environment. This is the most basic, but complicated research content in vegetation ecology. The western Sichuan region is dominated by mountainous and plateau geomorphology. The complex and unique natural and geographical condition of this area results in an abundance of plant species. However, they are exceedingly difficult to classify because of complex environmental conditions and the rich number of species. To understand the effect of environmental factors on the *Osmanthus serrulatus* plant community, this study investigated the environmental factors, TWINSPAN classification, species and diversity index, and environmental factors of Detrended Canonical Correspondence Analysis (DCCA) in the community region of *Osmanthus serrulatus* in the Dongla Mountain, Baoxing County, Sichuan Province. Because the DCCA ordination axe for clustering and classification combines vegetation and environmental factors, it can properly express the environmental and structural gradient of the plant community, which reflects the spatial variation of the environment and its structure. In this study, the

基金项目:国家自然科学基金项目(31300558);江苏省基础研究计划项目(BK20130972);江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD);南京林业大学高学历人才基金项目(GXL201308)
收稿日期:2017-03-14; **网络出版日期**:2018-01-26
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: clinechen@ njfu.edu.cn

classification and ordination of the *Osmanthus serrulatus* community in western Sichuan mountain regions was performed in order to lay a foundation for further analysis of the biodiversity pattern and maintenance mechanism of the fragmented and crushed habitat of the *Osmanthus serrulatus* community. The results showed that: 1) 24 community plots were divided into 12 coenotypes by TWINSPAN, which revealed the community successional trend in space. 2) *Osmanthus serrulatus* were distributed in the southwest and south slopes of the ditch, which had higher soil moisture levels and canopy densities, and coexisted with *Carpinus turczaninowii*, *Litsea moupinensis*, *Euptelea pleiosperma*, *Rhododendron fortunei*, *Lysimachia baoxingensis*, *Phlomis umbrosa*, and *Asplenium trichomanes*. 3) The DCCA ordination results verified the rationality of the TWINSPAN classification, and indicated that the organic and humus content were mainly environmental factors which influenced the *Osmanthus serrulatus* plant community type and spatial distribution.

Key Words: plant community; DCCA; environmental factor; *Osmanthus serrulatus*; TWINSPAN

短丝木犀 *Osmanthus serrulatus* 又名宝兴桂花,为我国特有的木犀科 Oleaceae 香花植物,具有较高的开发应用价值。短丝木犀是木犀属中春季开花的少数种类之一,其分布区很狭窄,最早在 20 世纪初发现于四川峨边,1916 年由 Rehder 定名并发表于 *Plantae Wilsonianae*。中国植物志曾记载其在四川、广西、福建有分布,但近年来仅在四川的西岭雪山、峨眉山、东拉山等地有所发现,其中东拉山集中分布于海拔 1800—2600m 的山地的短丝木犀种群群落是迄今为止世界上发现的面积最大的野生桂花群落。目前国内外对木犀属的研究主要集中于木犀 *O. fragrans*、柊树 *O. heterophyllus* 等少数木犀属物种,然而作为中国特有物种,国内外对短丝木犀的研究非常少:分子研究方面有陈林等对短丝木犀转录组微卫星的特征分析[1]和其类胡萝卜素生物合成相关基因表达分析[2];生长发育方面仅有杨国栋等[3]对其种子萌发机理的研究;群落研究方面目前仅陈俊华等[4]对四川东拉山的短丝木犀种群进行过群落优势种生态位的初步研究,对短丝木犀群落物种的组成、结构及多样性缺乏深入的研究。

植物群落是物种及群落的空间分布在不同尺度上气候、土壤、地形等各种因子综合作用的结果[5]。植被群落的数量分类和排序是揭示植被群落与其环境生态关系的重要工具,其中排序和分类是研究群落生态关系的重要数量方法[6]。双向指示种分析(TWINSPAN)是目前国际上常用的数量分类方法,从 20 世纪 80 年代初引入植被分析以来,一直在植被数量分类方法中占据着主导地位[7]。而在除趋势对应分析(DCA)与典范对应分析(CCA)基础上发展起来的除趋势典范对应分析(DCCA)是目前国际上最新的排序方法,其排序轴不仅包含了种类的组成信息和环境因子信息,同时精度高、克服了弓形效应。这种排序方法在植物群落研究中已有一些成功的例子[8-10]。排序有助于表达植物群落的生态关系,也有助于分类及其解释,但它本身不是一种分类。分类方法也是多种多样,而且在植被研究中得到了广泛的应用。但是,结合环境因子的外在分类方法仍很贫乏[7]。戴秉国[11]定量分析了辽宁省东部山地的植被群落。通过 TWINSPAN、PCA、CCA 和 MRPP 等方法,他们得出在本地区坡度和季相是影响植被的两个主要环境因素。Kursad 和 Serkan[12]通过聚类分析、逐步判别分析和卡方测验,得出了海拔和经度是影响土耳其布尔丹国家森林森林群落类型和植被分布的两个主要环境因素。Kursad 和 Serkan 在文中也讨论了这种分类和映射方法在其他林区的适用性。

本文在实地调查的基础上,应用 TWINSPAN 分类和 DCCA 排序的方法,对位于四川省宝兴县东拉山大峡谷的短丝木犀群落进行了分析研究(图 1),以期为短丝木犀资源的保护和科学利用提供科学依据。

1 研究区概况

东拉山大峡谷地处四川盆地向青藏高原过渡的龙门山脉、邛崃山脉南部的宝兴段,位于 102.25°—102.95°E,30.21°—30.69°N,海拔 1800—5338m,是川西典型的峡谷地貌和雪山草原自然生态景观[13]。该区属亚热带季风湿润气候,年平均气温 7.2℃,由于受山地海拔影响,垂直变化明显,具有以山地温带为主,从亚热带到高山永冻带的垂直气候谱,植被类型主要为山地常绿阔叶林、常绿和落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针

阔混交林、亚高山针叶林等[14],天然植被保存完好。

2　研究方法

2.1　样带设置与数据采集

2015 年 7 月在四川宝兴县东拉山短丝木犀分布集中的区域设置 24 个 20m×20m 的群落样方(图 2),记录以下数据:(1)对胸径≥2cm,高度≥1.5m 的乔木层个体进行每木调查,记录每个个体的物种名、胸径、高度、冠幅等。(2)对于每个样方内灌木层、草本层及层间植物进行全部调查,记录各物种的种类、高度、盖度、多度等。(3)环境因子,包括海拔、坡向、坡度、坡位等。

采用重要值作为各种植物在群落中的优势度指标,表示不同植物在群落中的功能地位。

乔木层和灌木层重要值计算公式为:重要值(IV)=相对多度+相对频度+相对显著度或相对盖度[15];群落物种多样性计算选择以下指数:Margalef 丰富度指数:$E = (S - 1)/lnN$,Simpson 优势度指数(Gini 指数):$D = 1 - \sum P_i^2$,Shannon-Wiener 多样性指数:$H' = -\sum P_i \ln P_i$,基于 Shannon-Wiener 指数的 Pielou 均匀度指数:$J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i)/lnS$ 和基于 Gini 指数的 Pielou 均匀度指数:$J_{gi} = (1 - P_i^2)/(1 - 1/S)$,式中:S 是出现在样地中的物种总数,N 是样方中所有物种的个体总和,P_i是种 i 的个体数占所有种个体数的比率[16]。

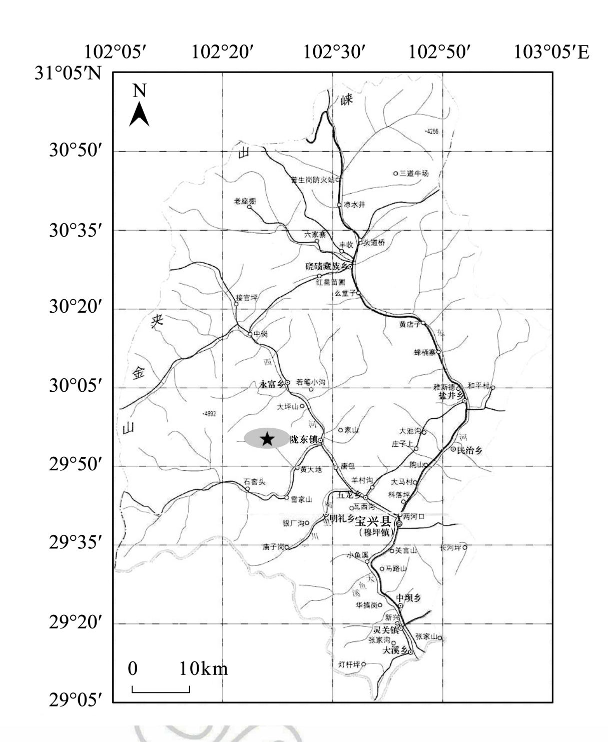


图 1　四川省宝兴县东拉山短丝木犀群落研究区示意图

Fig.1　Synopsis of the study area of the *Osmanthus serrulatus* community in Dongla Mountain, Baoxing County, Sichuan Province

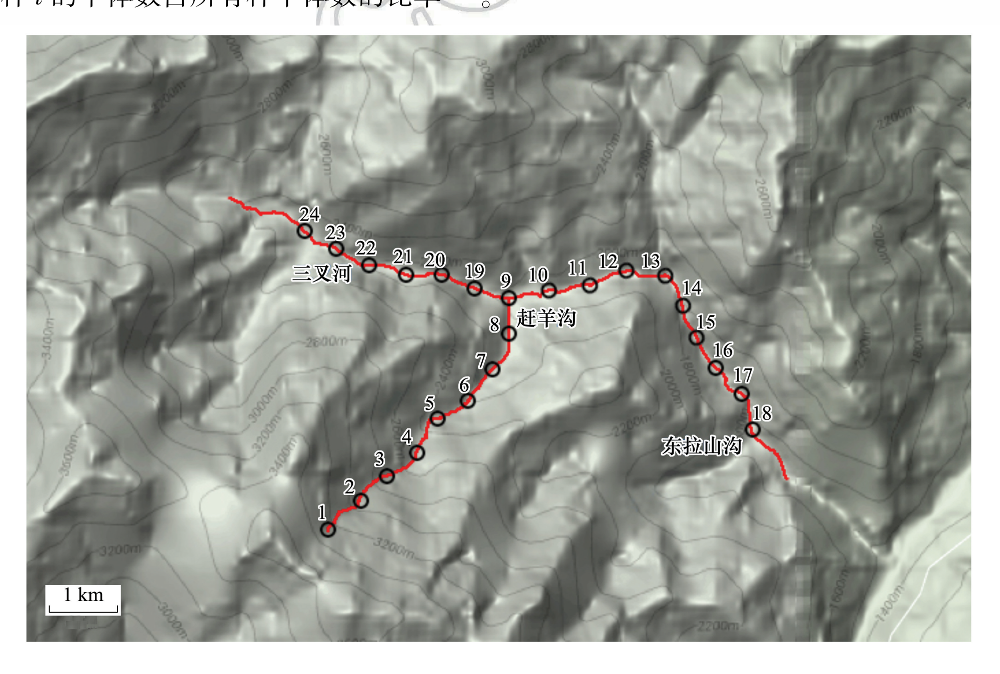


图 2　东拉山短丝木犀群落的 24 个样点

Fig.2　24 samples of the *Osmanthus serrulatus* community in Dongla Mountain

按照理论水平梯度(从低到高估值),坡位分为以下 7 个水平,0°—0.5°为水平,0.5°—2°为微斜坡,2°—5°

为缓斜坡,5°—15°为斜坡,15°—35°为陡坡,35°—55°为峭坡,55°—75°为垂直壁。

坡向的赋值以南坡为最高分 5 分、东南坡和西南坡为 4 分、东坡和西坡为 3 分、东北坡和西北坡为 2 分、北坡为 1 分;坡位的赋值以山脊为最高分 4 分、上坡位为 3 分、中坡位为 2 分、下坡位为 1 分。分值越大,体现接受的光照、热量越强[17-18]。

土样采集采用交叉五点取样法,从每个样方的 0—20cm 层取土,再将 5 个采样点的土样混合均匀。

风干土样经前期处理后过 2mm 网筛,研磨后全部通过 100 目网筛用作化学分析。土样的有机质测定用重铬酸钾氧化外加热法测定,土样的腐殖质测定用焦磷酸钠提取重铬酸钾法[19]。

2.2 数据分析

DCCA 需要两个数据矩阵,一个是植被数据矩阵,一个是环境因子数据矩阵。本文植被数据矩阵为 P×N 维的物种重要值矩阵,其中 P 为植物的种数(235 个),N 为样地数(本文为 24 个),环境因子有海拔、坡向、坡度、坡位、土壤腐殖层和土壤有机质层共 6 个。

运用 PC-ORD4.0 软件进行 TWINSPAN 分类;本研究采用国际通用软件 CANOCO 完成 DCCA 排序[20]。CANOCO 一次给出样地前 4 个排序轴的坐标值,DCCA 排序轴分类(OAC)的具体步骤参见文献[7,21]。在 DCCA 排序中 axisⅠ、axisⅡ、axisⅢ相对应代表一、二和三轴,且因为 DCCA 在分析计算时采用了 4 个轴[22],但是第三轴的意义比前 2 个轴都小,故第四轴就没有实质的意义,所以在环境因子与 DCCA 排序轴的相关系数中采用前 3 个轴,而在制图时采用前 2 个轴。

3 结果与分析

3.1 TWINSPAN 分析

对 24 个样方的数据进行了 TWINSPAN 分析,依据生态环境的相似性,我们把这种群组和少数植被样方连接起来融合成邻居组群。最后,将东拉山短丝木犀群落分成 12 种类型(图 3),每个群落都是根据各个级别的主要树种命名,这些主要树种也是双向指示种分析的指示物种[23]。图 4 描述了这 12 种植物群落的定量特征。这种分类方法是对东拉山植物群落比较客观的分类,并且能够显示出植物和物理环境的关系。除此之外,每种群落里的指示物种都可以反映出该群落生境的特点。

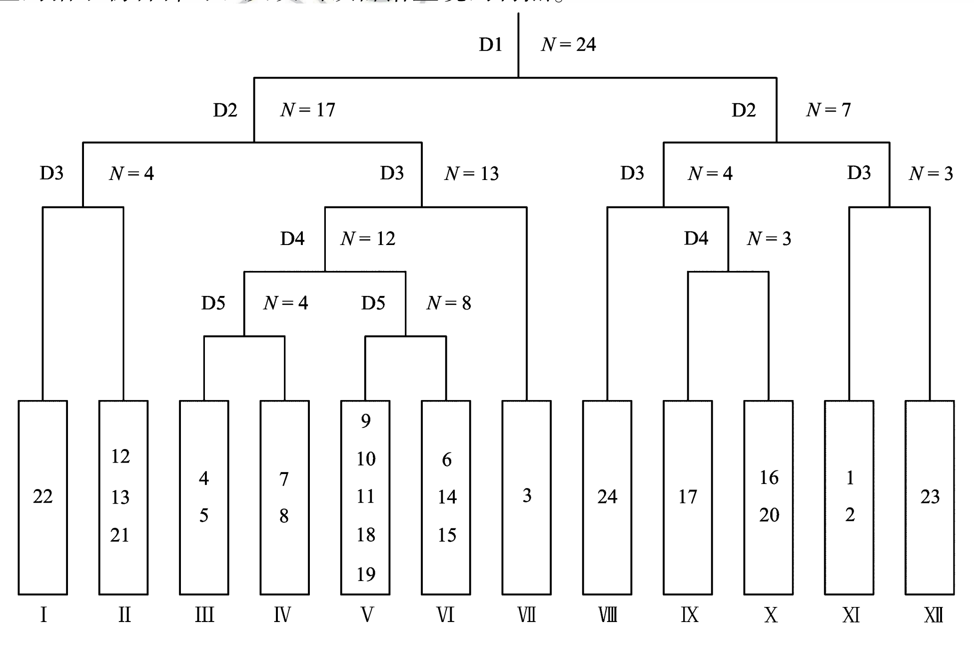


图 3 东拉山短丝木犀植物群落 24 个样地的双向指示种分类树状图

Fig.3 Two-way indicator tree classification of 24 species of the *Osmanthus serrulatus* plant community in Dongla Mountain

D: 样地分组;N: 样地数; 1—24: 样地编号; Ⅰ—Ⅻ: 群丛编号

3.2　TWINSPAN 排序轴分类结果与群落类型

根据短丝木犀群落样方资料统计,样地中共有维管束植物 235 种,隶属于 77 科 143 属,其中蕨类植物 8 科 9 属 12 种,分别占科、属、种总数的 10.39%,6.29% 和 5.08%。裸子植物 2 科 5 属 9 种,被子植物 67 科 129 属 214 种,占科、属、种总数的 87.01%,87.76%,91.06%。

应用 TWINSPAN 指示种分析方法,对研究区 24 个样地和 18 个优势种植物种的数据进行 TWINSPAN 分类,其分类结果见图 3 和图 4。TWINSPAN 第 4 级水平上的划分结果将东拉山短丝木犀植物群落划分为 12 个群丛类型,从图 4 中还可以看出各个植物种的观测值集中分布在矩阵对角线附近。依据群落生境特征的指示种和优势种命名群丛类型,对数量分类的结果进行轻微调整,最终得到东拉山短丝木犀群落的 12 个植被群(表 1)。

3.3　DCCA 分析

DCCA 是 DCA 和 CCA 的结合,它在去趋势对应分析(DCA)的基础上改进而成。它不仅有效去掉因第一,二排序轴间的相关性产生的"弓形效应",而且它还能同时结合多个环境因子(理论上没有限制)、包含的信息量大[24]。其他分类都只能在另外一种排序空间上圈定群落类型的界限,必须结合其他的排序才能完成分类。而 DCCA 用样方环境因子值与样方排序值做一次多元线性回归,然后结合回归系数与环境因子原始值叠加来计算,不仅可独立完成分类过程;而且可以直观地把环境因子、物种和样方同时表达在排序轴的坐标平面上,因此更具生态意义[8]。

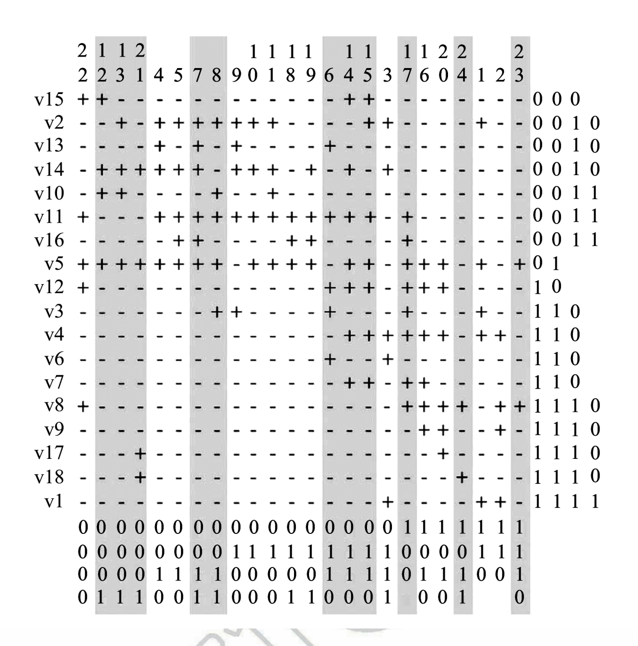


图 4　东拉山短丝木犀植物群落 TWINSPAN 分类结果矩阵图

Fig.4　Figure matrix Dongla mountain the *Osmanthus serrulatus* plant community classification results of TWINSPAN

V1. 南方铁杉 *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* ;V2. 宝兴木姜子 *Litsea moupinensis*;V3. 宝兴矮柳 *Salix microphyta*;V4. 猫儿刺 *Ilex pernyi* ;V5. 大叶水冷花 *Pilea martinii*;V6. 四川忍冬 *Lonicera szechuanica*;V7. 铁角蕨 *Asplenium trichomanes*;V8. 宝兴梾木 *Swida scabrida*;V9. 隐刺卫矛 *Euonymus chuii*;V10. 长叶溲疏 *Deutzia longifolia*;V11. 短丝木犀 *Osmanthus serrulatus*;V12. 中华槭 *Acer sinense*;V13. 鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*;V14. 云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*;V15. 宝兴过路黄 *Lysimachia baoxingensis*;V16. 领春木 *Euptelea pleiosperma*;V17. 糙苏 *Phlomis umbrosa*;V18. 三桠乌药 *Lindera obtusiloba*

表 1　群落分类群组的变量和类型

Table 1　Variables and types of community classification groups

类型 Type	所在样方优势树种 Dominant tree species in quadrat	坡位 Slope position	坡向 Aspect	坡度 Ratio of slope	土壤有机质 Soil organic matter/(g/kg)	土壤腐殖质 Soil humus/(g/kg)	海拔 Altitude/m
Ⅰ	宝兴柳 *Salix moupinensis* Franch.	上坡	2 东北	陡坡	228.7	42.33	2005
Ⅱ	宝兴梾木 *Swida scabrida* Franch.	下坡	4 西南	斜坡	269.32	53.11	2366
Ⅲ	异色泡花树 *Meliosma myriantha* Sieb. et Zucc. var. *discolor* Dunn	下坡	3 西南	微斜坡	253.97	50.28	2108
Ⅳ	鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* Hance	中坡	5 南坡	缓斜坡	294.44	57.44	2204
Ⅴ	短丝木犀 *Osmanthus serrulatus* Rehd	中坡	5 南坡	缓斜坡	296.57	54.50	2317
Ⅵ	宝兴木姜子 *Litsea moupinensis* Franch.	中坡	4 东南	缓斜坡	282.7	51.47	2158
Ⅶ	云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei* Lindl.	下坡	3 东北	微斜坡	251.84	50.71	2115
Ⅷ	南方铁杉 *Tsuga chinensis* (Franch.) Pritz	上坡	1 北	斜坡	224.3	45.76	2476
Ⅸ	红果树 *Stranvaesia davidiana* Dcne.	上坡	4 西南	陡坡	271.01	52.33	2179
Ⅹ	中华槭 *Acer sinense* Pax	上坡	2 东北	斜坡	214.22	46.82	2356

续表

类型 Type	所在样方优势树种 Dominant tree species in quadrat	坡位 Slope position	坡向 Aspect	坡度 Ratio of slope	土壤有机质 Soil organic matter/(g/kg)	土壤腐殖质 Soil humus/(g/kg)	海拔 Altitude/m
XI	云南松 *Pinus yunnanensis* Franch.	下坡	4 东南	微斜坡	273.14	49.84	1987
XII	连香树 *Cercidiphyllum japonicum* Sieb.	上坡	1 北	陡坡	234.31	47.21	2435

包括 12 种森林群落

(1) type Ⅰ:群落主体由宝兴柳+短丝木犀(乔木层)—川滇猫乳 *Rhamnella forrestii* +扁担杆 *Grewia biloba*(灌木丛)—宝兴报春 *Primula moupinensis* +宝兴过路黄(草本层)构成,包含 22 号样方。

(2) type Ⅱ:群落主体由宝兴梾木+宝兴柳(乔木层)—长叶溲疏+三桠乌药(灌木丛)—糙苏+鼠尾草 *Salvia japonica*(草本层)构成,包含 12、13 和 21 样方。

(3) type Ⅲ:群落主体由异色泡花树+云南冬青 *Ilex yunnanensis*(乔木层)—短丝木犀+四川忍冬(灌木丛)—老鹳草 *Geranium wilfordii* +宝兴列当 *Orobanche mongolica*(草本层)构成,包含 4 和 5 样方。

(4) type Ⅳ:群落主体由鹅耳枥+宝兴柳(乔木层)—短丝木犀+卵叶钓樟 *Lindera limprichtii*(灌木丛)—过路黄 *Lysimachia christinae* +黄水枝 *Tiarella polyphylla*(草本层)构成,包含 7 和 8 样方。

(5) type Ⅴ:群落主体由短丝木犀+云锦杜鹃(乔木层)—领春木+宜昌荚蒾 *Viburnum erosum*(灌木丛)—大叶水冷花+尼泊尔蓼 *Polygonum nepalense* (草本层)构成,包含 9、10、11、18 和 19 样方。

(6) type Ⅵ:群落主体由宝兴木姜子+短丝木犀(乔木层)—猫儿刺+华中五味子 *Schisandra sphenanthera*(灌木丛)—宝兴梅花草 *Parnassia labiata* +铁角蕨(草本层)构成,包含 6、14 和 15 样方。

(7) type Ⅶ:群落主体由云锦杜鹃+宝兴木姜子(乔木层)—绢毛稠李 *Padus wilsonii*+四川忍冬(灌木丛)—水珠草 *Circaea lutetiana* +有柄石韦 *Polypodium petiolosum*(草本层)构成,包含 3 样方。

(8) type Ⅷ:群落主体由南方铁杉+天竺桂 *Cinnamomum pedunculatum*(乔木层)—血红小檗 *Berberis sanguinea* +短苞忍冬 *Lonicera schneideriana*(灌木丛)—水珠草+有柄石韦(草本层)构成,包含 24 样方。

(9) type Ⅸ:群落主体由红果树 *Stranvaesia davidiana* +中华槭(乔木层)—宝兴越桔 *Vaccinium moupinense* +宝兴矮柳(灌木丛)—落新妇 *Astilbe chinensis* +华中碎米荠(草本层)构成,包含 17 样方。

(10) type Ⅹ:群落主体由中华槭+宝兴梾木(乔木层)—隐刺卫矛 *Euonymus chuii* +茶藨子 *Ribes nigrum*(灌木丛)—双花华蟹甲 *Sinacalia davidii* +川西火绒草 *Leontopodium wilsonii*(草本层)构成,包含 16 和 20 样方。

(11) typeXI:群落主体由云南松 *Pinus yunnanensis* +倒卵叶石楠 *Photinia lasiogyna*(乔木层)—西南栒子 *Cotoneaster franchetii* +羽叶丁香 *Syringa pinnatifolia*(灌木丛)—圆舌粘冠草 *Myriactis nepalensis* +岩白菜 *Bergenia purpurascens*(草本层)构成,包含 1 和 2 样方。

(12) typeXII:群落主体由连香树+南方铁杉(乔木层)—川钓樟 *Lindera pulcherrima* var. *hemsleyana*+宝兴越桔(灌木丛)—莲叶橐吾 *Ligularia nelumbifolia* +列当 *Orobanche coerulescens*(草本层)构成,包含 23 样方

短丝木犀群落的 24 个样地的 DCCA 分析结果显示所有物种和优势物种在前两个序列轴上的累计贡献率分别是 41.2、64.3、37.8 和 68.5。两个排序轴的累积贡献率为 76.4%(表 2)。一般情况下,累积贡献率在 70%以上,则群落的基本面貌可以得到反映[25]。

表 2 DCCA 的第一、二两轴的特征值和累积百分比

Table 2 DCCA first and second axis of the eigenvalue and cumulative percentage

环境因子 Environmental factor	所有群落 All communities		优势物种 Dominant species	
	轴 Axis 1	轴 Axis 2	轴 Axis 1	轴 Axis 2
海拔 Altitude	1.124	1.292	1.739	0.7889
坡位 Slope position	1.302	1.2824	1.1813	1.1862
坡向 Aspect	1.3508	1.7849*	0.5444*	0.1482*
坡度 Ratio of slope	1.3742*	1.7541*	0.8715*	0.1195*
土壤有机质 Soil organic matter	0.2319*	1.7734	2.6399	0.2723
土壤腐殖质 Soil humus	2.64110	0.7359	2.1414	1.7416
特征值 Eigenvalue	0.763	0.576	0.915	0.835
累积贡献率 Cumulative contribution/%	41.2	64.3	37.8	68.5

* 表示与环境变量之间的相关性,以及从 DCCA 排序解释的方差的累积百分比

因此,根据主成分分析的两个排序轴我们建构出了所有物种和优势物种的二维序列图(图 5 和图 6)。主成分分析序列图(基于所有物种和优势物种的搭配关系)上,每个物种的群落类型(通过双向指示种分析分类)排列良好。从图 5 和图 6 序列图上呈现的分布范围和边界来看,主成分分析排序反映出的是短丝木犀群落间真实的分布关系。

3.4　短丝木犀植物群落的环境梯度分析

立足于相对大量的环境因素,DCCA 分析通常情况下可以更好地反应出群落和环境的关系[26]。正如坡向、坡度、坡位和优势物种之间的亲密关系以及土壤腐殖层、土壤有机质层和所有物种之间的亲密关系,尽管腐殖质积层和优势物种的关系不如其与所有物种之间的关系所证明的那样,但是 DCCA 分析已经很好地反应出短丝木犀群落和其生境生态因子的关系。

在 DCCA 中,采用二次多项式法对数据进行处理,并执行蒙特卡洛测试方法来检验排序轴的显著性[27]。对 DCCA 分析的第一个排序轴所做的蒙特卡洛检验表明,海拔和坡位的斜率比值并不影响所有物种或者优势物种。所以,这些参数可以用来解释所有物种和优势物种的分布特点。DCCA 分析排序图可以很好地解释环境变量和样方的关系以及样方在每一种环境空间的分布。在排序图上(图 5 和图 6)我们可以看出,箭头代表环境因素,箭头的长度代表环境因素和样方分析的关系程度。箭头越长,表示环境因素对样方分布的影响就越大。箭头连接处与排序轴之间的角度代表与排序轴的关系。包含箭头的象限显示出环境因素和序列轴的关联性(无论正面的或是负面的)。

3.5　短丝木犀植物群落的生态结构梯度分析

从 DCCA 分析排序图(图 5)可以看出,由坡向、坡度、土壤腐殖层和土壤有机质层创建的线长度都很长,表 3 中从 DCCA 第一个排序轴的选定环境变量的同样也表明植物群落分布和环境因素之间有较强的关联性。土壤腐殖层的厚度参数和第一个轴之间的锐角关系表明腐殖质层的含量沿着第一条轴从左至右逐渐增加。从第二条轴线可以看出植被群落生存环境的坡向变化趋势,自下而上,从背阴到阳光普照。序列图上每一种群落的分布都是有规律的。

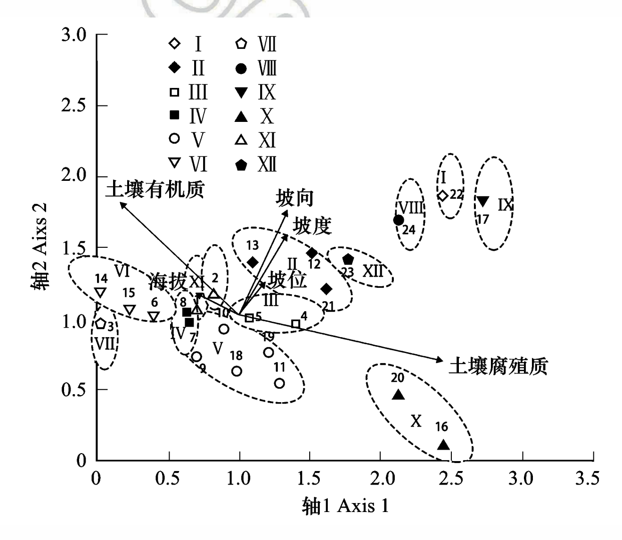


图 5　东拉山短丝木犀植物群落 24 个样地的 DCCA 二维排序图

Fig.5　DCCA two-dimensional sorting map of 24 plots of plant community of the *Osmanthus serrulatus*

Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ 代表 12 种森林群落

坡度和土壤有机质层以及 type Ⅴ 群组的分布之间存在着密切的关系。这类物种主要分布在缓坡地区,且必须有充足的水分和厚厚的土层。type Ⅹ 群落则散落的分布在序列图上,type Ⅶ 群落也有部分是在距离其他群组较远的地方。原因可能是群落物种可以适应低土壤湿度、薄土层以及其他物种无法适应的高光强度的环境。type Ⅰ、Ⅷ和Ⅸ群落分布在序列图的右上角,因为高湿度和低温的环境是它们的理想栖息地。type Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ和Ⅳ群落由于具有相似的结构组成和栖息地,分布则相对集中。很显然,典范对应分析排序方法的结果与双向指示种分析所获得的分类是相似的。

就优势物种和 DCCA 分析样方序列图的重要价值(图 6)而言,第一条轴线反映出植被群落(从左到右)的环境边坡趋向,也就是说它们的生存环境从阴坡变换到了阳坡。第二条轴线(显示陡坡至缓坡)代表植物群落生长的斜坡趋势(从上至下)。序列图上每种群落的规律性具有重大的意义。与整个植物群落的 DCCA 分析序列轴的分布具有一定相似性。

如图 6 所示各群丛优势种的分布格局与群丛类型的分布格局基本相似,如以中华槭(V12)和宝兴楝木(V8)为优势种的群丛中华槭+宝兴楝木—隐刺卫矛+茶藨子—双花华蟹甲+川西火绒草(Ⅹ),均分布在排序

图的右下端,其他优势种同对应群丛在 DCCA 排序图分布位置也基本相似,说明优势种的分布格局在一定程度上决定着植物群落类型的分布格局[28]。优势种短丝木犀(V11)、云锦杜鹃(V14)、领春木(V16)和鹅耳枥(V13)在第一条轴线的右侧,并且集中分布在于较低海拔的阳坡较中下部陡峭处,水热条件丰富。这与所有物种的 DCCA 分析序列图的表义相同。

表 3　来自 DCCA 第一个排序轴的选定环境变量的显著性

Table 3　The significance of the selected environment variables from the first sort axis of DCCA

环境因子 Environmental factor	所有群落 All communities		优势物种 Dominant species	
	F	P	F	P
土壤有机质 Soil organic matter	6.4001	0.001 **	4.7032	0.0167 **
土壤腐殖质 Soil humus	0.1325	0.912	0.7381	0.48 **
坡向 Aspect	1.5862	0.241 *	2.4104	0.1524 *
坡度 Ratio of slope	2.1122	0.2351	8.8713	0.0051
海拔 Altitude	1.0357	0.3081	1.2683	0.2635
坡位 Slope position	2.5156	0.0863	2.9618	0.0615

如果 $P<0.01$ 差异效果显著; * 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

4　讨论

为研究东拉山短丝木犀植物群落的分类,本研究采用了双向指示种分析立体交叉法将东拉山短丝木犀群落样方分为 12 类,因为环境特征需要通过植被组成来反映,而指示物种可以快速识别复杂的植被分类,所以用群落的优势树种重组命名。用这种方法识别的 12 种群落类型可以反映出调查生态群落分类单元中的植被类型。除此之外,DCCA 分析排序法可以作为双向指示种分析的一种佐证,得到的分类结果更为可信。

本文的 DCCA 分析排序法能较好地表达短丝木犀植物群落的结构梯度,反映了该植物群落的结构变异特点,并表现出多个植物群落类型在海拔上有一定的显著差异。正如上文所述的第 1 轴主要表达了植物群落类型由森林向灌丛过渡,第 2 轴表征了植物群落类型由木本植物群落向草本植物群落过渡。两种的过渡变异也说明短丝木犀植物群落之间的变异,第 2 轴的变异尺度大于第 1 轴的变异尺度,也说明该群落的这两种结构梯度的变异与环境梯度的变异相对应,实际上 DCCA 排序图表达了群落与环境相互作用的综合生态梯度。

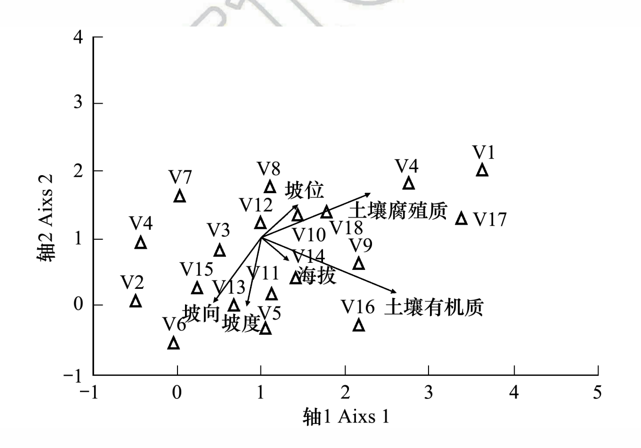


图 6　东拉山短丝木犀植物群落优势植物的 DCCA 二维排序图

Fig.6　Two-dimensional sequence diagram of DCCA plants in the plant community of the *Osmanthus serrulatus* in Dongla Mountain

V1. 南方铁杉 *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis* ;V2. 宝兴木姜子 *Litsea moupinensis*;V3. 宝兴矮柳 *Salix microphyta*;V4. 猫儿刺 *Ilex pernyi* ;V5. 大叶水冷花 *Pilea martinii*;V6. 四川忍冬 *Lonicera szechuanica*;V7. 铁角蕨 *Asplenium trichomanes*;V8. 宝兴梾木 *Swida scabrida*;V9. 隐刺卫矛 *Euonymus chuii*;V10. 长叶溲疏 *Deutzia longifolia*;V11. 短丝木犀 *Osmanthus serrulatus*;V12. 中华槭 *Acer sinense*;V13. 鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*;V14. 云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*;V15. 宝兴过路黄 *Lysimachia baoxingensis*;V16. 领春木 *Euptelea pleiosperma*;V17. 糙苏 *Phlomis umbrosa*;V18. 三桠乌药 *Lindera obtusiloba*

从优势种的分布上可以看出排序图左右两部分在环境因子上的显著差异。相较于排序图右半部分位于坡度较大的阴坡云南松+倒卵叶石楠(typeXI)群落与南方铁杉+天竺桂(typeⅧ)群落指示湿冷生境的南方铁杉、云南松、血红小檗、西南栒子来说,排序图左半部分分布于平缓阳坡处的鹅耳枥+宝兴柳(typeⅣ)群落与短丝木犀+云锦杜鹃(typeⅤ)群落中指示湿热生境的短丝木犀、云锦杜鹃、领春木、鹅耳枥的相对比重比较大。

东拉山的短丝木犀群落植被主要受坡度、坡向以及腐殖质土层的影响。除此之外,DCCA 分析结果还可以很好地解释所有物种以及每个环境梯度内优势物种的分布。短丝木犀建群群丛通常生长土壤含水量较高

的、处于阳坡、郁闭度较高的水沟边。而且土壤有机质和土壤腐殖质含量对短丝木犀的影响较显著,坡度、坡位、坡向和海拔对短丝木犀具有一定程度的影响。本文得出短丝木犀喜阳和喜湿的特性,并且影响其群落的分布区域。该群落多分布郁闭度较高的南和西南坡向,群落间的植物物种多样性相似度也较高。土壤有机质和腐殖质含量较高,在一定程度反映土壤的肥力较大,能够满足更多的物种生长,因此对物种多样性具有较大的影响。

5　结论

(1)东拉山山谷地处四川盆地向青藏高原的过渡地带,其复杂的地形地貌和湿润多雨的自然气候以及相对封闭的原始自然环境造就了当地极为丰富的群落物种多样性。虽然该区生态系统群落组成复杂、类型多样而丰富,但抗干扰能力低,人为活动的干扰会环境因子对短丝木犀群落分异格局的解释力。

(2)短丝木犀植物群落随着不同结构生境间水热条件和土壤条件状况的差异,生境间物种组体现出不同适宜生境的植物指示种。群落沿坡度、坡向相邻生境间地形变化大,生境间异质性增强,可见,地形因素扮演着重要的角色,但是坡向、坡度及其他资源分布等环境因素也不容忽视。

(3)异质生境对短丝木犀群丛分布的影响分析表明:以短丝木犀建群的群丛分布主要组成都表现为南坡>北坡;土壤水分较为充足生境,肥力条件较为好的生境能为短丝木犀提供有利的生长环境。虽然坡位和海拔变量值不突出,但其影响作用不容忽视。

短丝木犀分布的东拉山谷地形变化独特而复杂,不同区域群丛生境的重要差异,并显著影响到整个短丝木犀群落的分布格局。要开展相关研究应该要考虑短丝木犀利用独特生境有限资源能力以及综合气候变化和其自身生物学形态、生理特征等相关综合因素影响,深入地对短丝木犀破碎分布及群落构建影响的主要因子及其作用机制进行积极探索。

参考文献(References):

[1] 陈林, 李龙娜, 杨国栋, 戴亚平. 特有植物短丝木犀(*Osmanthus serrulatus*)转录组微卫星特征分析. 分子植物育种, 2016, 14(4): 959-965.
[2] 陈林, 李龙娜, 戴亚平, 杨国栋. 短丝木犀转录组测序及类胡萝卜素生物合成相关基因表达分析. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2016, 40(5): 21-28.
[3] 杨国栋, 王贤荣, 段一凡, 陈林. 中国特有香花植物短丝木犀种子萌发研究. 现代园林, 2015, 12(10): 761-765.
[4] 陈俊华, 何飞, 李建彬, 谢大军, 罗红梅, 胡顺祥. 东拉野桂花群落物种多样性及乔木优势种生态位初步研究. 四川林业科技, 2007, 28(4): 48-51, 9-9.
[5] 沙威, 董世魁, 刘世梁, 刘全儒, 石建斌, 李晓文, 苏旭坤, 吴娱. 阿尔金山自然保护区植物群落生物量和物种多样性的空间格局及其影响因素. 生态学杂志, 2016, 35(2): 330-337.
[6] 党承林, 姜汉侨. 云南西畴县草果山常绿阔叶林的数量分类研究. 生态学报, 1982, 2(2): 111-132.
[7] 张金屯. 典范指示种分析——一个新的外在分类方法. 植物生态学报, 1994, 18(4): 379-384.
[8] 张金屯. 植被与环境关系的分析Ⅱ: CCA 和 DCCA 限定排序. 山西大学学报: 自然科学版, 1992, 15(3): 292-298.
[9] Zhang J T, Oxley E R B. A Comparison of three methods of multivariate analysis of upland grasslands in North Wales. Journal of Vegetation Science, 1994, 5(1): 71-76.
[10] 米湘成, 张金屯, 张峰, 上官铁梁, 郑凤英. 山西高原植被与气候的关系分析及植被数量区划的研究. 植物生态学报, 1996, 20(6): 549-560.
[11] 代力民, 唐立娜, 曹玉明, 王顺忠, 周莉, 王庆礼. 辽东山区生态土地分类中的植物群落数量分析. 林业科学, 2008, 44(3): 6-12.
[12] Özkan, K, Gülsoy S. Ecological land classification and mapping based on vegetation-environment hierarchical analysis —a case study of Buldan forest district (Turkey). Polish Journal of Ecology, 2010, 58(1): 55-67.
[13] 黄绍辉. 珍稀濒危植物连香树的物种生物学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
[14] 郭朝霞. 川西亚高山区生物多样性分布格局研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008.
[15] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟. 植物群落学实验手册. 广州: 广东高等教育出版社, 1996: 130-142.
[16] 马克平. 生物群落多样性的测度方法//钱迎倩, 马克平, 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
[17] 邱扬, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用. 生态学报, 2000, 20(2): 199-206.

[18] 袁秀, 李景文, 李俊清. 长城北京段风景区植被特征及植物多样性. 生态学报, 2007, 27(3): 977-988.

[19] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[20] Ter Braak C J F. Canonical community ordination. Part I: basic theory and linear methods. Écoscience, 1994, 1(2): 127-140.

[21] 王翠红, 张金屯. 汾河水库水源河着生硅藻群落的 DCCA 研究. 中国环境科学, 2004, 24(1): 28-31.

[22] 余伟莅, 郭建英, 胡小龙, 王利兵, 郭雨华, 马广文. 浑善达克沙地东南部退化草场植物群落 DCCA 排序与环境解释. 干旱区地理, 2008, 31(5): 759-764.

[23] Shang K K, Zhang Q P, Da L J, Hara K, Yang Y C, Fujihara M, Tomita M, Zhao Y. Effects of natural and artificial disturbance on landscape and forest structure in Tiantong national forest park, East China. Landscape and Ecological Engineering, 2014, 10(1): 163-172.

[24] 张金屯. 数量生态学(第二版). 北京: 科学出版社, 2011.

[25] Huang W J, Liu J X, Wang Y P, Zhou G Y, Han T F, Li Y. Increasing phosphorus limitation along three successional forests in southern China. Plant and Soil, 2013, 364(1/2): 181-191.

[26] Bourgeron P S, Humphries H C, Jensen M E. Elements of ecological land classifications for ecological assessments//Jensen M E, Bourgeron P S, eds. A Guidebook for Integrated Ecological Assessments. New York: Springer, 2001: 321-337.

[27] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

[28] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, 2003, 23(3): 421-427.

